

ИНТЕРФЕРЕНЦИОННОЕ РАСТРИРОВАНИЕ НОСИТЕЛЕЙ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ОПТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ НА ОСНОВЕ ХАЛЬКОГЕНИДНЫХ СТЕКЛООБРАЗНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВ

*Юрий ЖИДКОВ, Олег КОРШАК, Владимир ПРИЛЕПОВ, Севастьян НЯМЦУ,
Аркадий КИРИЦА*

НИИ фототермопластической записи

În prezenta lucrare este studiată posibilitatea înregistrării informației optice pe purtători fototермопластici în bază de semiconductori halogenici sticloși prin metoda rastării interferențiale. Este demonstrată posibilitatea înregistrării rețelelor interferențiale și a hologramelor la interferență în procesul înregistrării concomitente a acestora.

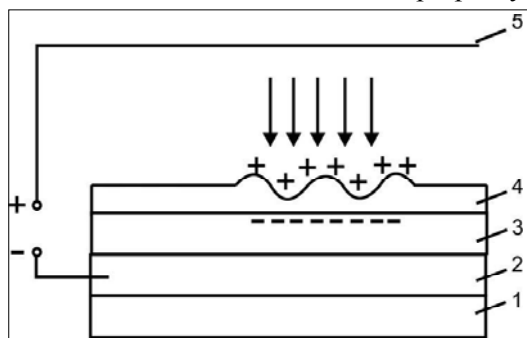
In this paper, the possibility of optical information recording on photothermoplastic media based on chalcogen semiconductor glasses by means of interference rasterizing has been investigated.

The possibility of recording of interference gratings and holograms during interference in simultaneous recording process has been shown.

Введение

Фототермопластические носители (ФТПН) достаточно успешно применяются для регистрации голограмм и интерферограмм. Высокие значения разрешающей способности ($>2000 \text{ mm}^{-1}$) и фоточувствительности (порядка $10^6 \text{ cm}^2/\text{J}$) позволяют успешно регистрировать различные типы голограмм в реальном масштабе времени ($\sim 3 \text{ s}$).

Фототермопластический носитель (рис.1) представляет собой многослойную структуру, состоящую из последовательно нанесенных на прозрачную основу (1) светопроницающего проводящего электрода SnO_2 (2), светочувствительного полупроводника (3) на основе халькогенидных стеклообразных полупроводников (ХСП) системы As-Se-S и термопластического слоя (4).



При регистрации голограмм на разогретой до пластического состояния поверхности термопластика под действием коронирующего потенциала формируется рельефно-фазовое изображение голограммы. После регистрации оптической информации поверхностный рельеф сохраняет свою форму при температуре $<75^\circ\text{C}$ и не претерпевает каких-либо изменений при внешней засветке. Последнее весьма важно при восстановлении голограмм с невысокими значениями дифракционной эффективности, так как позволяет существенно увеличить интенсивность опорного пучка лазерного излучения при восстановлении записанного изображения.

Рис.1. Фототермопластический носитель: 1 - лавсановая подложка, 2 - проводящий электрод SnO_2 , 3 - светочувствительный полупроводник, 4 - термопластический слой, 5 - коронирующий электрод.

Эксперимент

Целью работы являлось исследование процессов регистрации голографических изображений на фототермопластических носителях при ортогональном и гексагональном интерференционном растривании.

В качестве регистрирующей среды исследовался фототермопластический носитель с фоточувствительным слоем на основе ХСП в соотношении $\text{As}_2\text{Se}_{3(0,3)}-\text{As}_2\text{S}_{3(0,7)}$ и термопластическим слоем на основе полиэпоксипропилкарбазола. Максимум спектральной фоточувствительности такого носителя находится вблизи $\lambda = 540 \text{ nm}$, что позволяет успешно применять в качестве источника когерентного излучения Nd:Yag лазер с длиной волны $\lambda = 532 \text{ nm}$. Полупроводниковый фоточувствительный слой наносится методом термического испарения в вакууме на лавсановую подложку, металлизированную проводящим электродом в виде полупрозрачного слоя SnO_2 . Толщина полупроводникового слоя составляет $1,4 \mu\text{m}$. Поверх фоточувствительного полупроводника методом полива наносится термопластический слой на основе полиэпоксипропилкарбазола толщиной $0,8 \mu\text{m}$. Фототермопластические носители обладают резонансным характером записи [2], и достижение максимальных значений дифракционной эффективности наблюдается вблизи так называемой резонансной пространственной частоты записи. Для определения этого параметра была получена зависимость дифракционной эффективности от пространственной частоты записи $\eta = f(v)$, представленная на рис.2.

Как видно из графика, для исследуемого носителя максимальное значение дифракционной эффективности $\eta = 12\%$ наблюдается вблизи пространственной частоты $\nu = 700\text{mm}^{-1}$, исходя из чего спектр пространственных частот при регистрации голограмм необходимо располагать вблизи этого параметра.

Для проведения эксперимента была сконструирована голографическая установка, принципиальная схема которой приведена на рис.3. Особенность эксперимента заключалась в пространственном разделении при помощи призм коллимированного лазерного излучения на несколько составляющих, как показано на рис.3 a,b,c.

В случае разделения коллимированного лазерного пучка при помощи двух призм, как показано на рис.3a, в слое фоточувствительного полупроводника ФТПН формируется интерференционная картина, состоящая из чередующихся темных и светлых полос, перпендикулярных плоскости голографического стола.

При изменении угла схождения пучков 2θ при помощи зеркал 9,10, на поверхности ФТПН будут формироваться интерференционные картины с различной пространственной частотой ν . Расчет периода регистрируемой решетки производится из условия Брэгга:

$$2d\sin\theta = \lambda,$$

где d - период решетки, θ - угол падения лазерного пучка, λ - длина волны лазерного излучения.

После вычисления периода решетки d пространственная частота записи определяется из условия $\nu = 1/d$ (mm^{-1}). Исходя из того, что максимальное значение дифракционной эффективности для исследуемого носителя наблюдается при $\nu = 700\text{mm}^{-1}$, регистрация интерференционных картин производится вблизи этого значения пространственной частоты записи.

При регистрации такой интерференционной картины на поверхности ФТПН формируется рельефная дифракционная решетка синусоидального профиля (рис.4).

При освещении такой дифракционной решетки считывающим пучком He-Ne лазера (14, рис.3), на экране формируются дифракционные максимумы нулевого, первого и более высоких порядков. Интенсивности $+1$ и -1 дифрагирующих пучков равны, так как в данных условиях регистрируется плоская дифракционная решетка (критерий Клейна $Q < 1$). Дифракционная эффективность зарегистрированной решетки измерялась в излучении He-Ne лазера (14, рис.3) как процентное отношение интенсивности падающего сигнала к интенсивности светового пучка, дифрагирующего в первый порядок дифракции. Максимальное значение дифракционной эффективности составило $\eta = 15\%$. Необходимо отметить, что согласно литературным данным теоретический предел дифракционной эффективности для плоских синусоидальных решеток составляет $\eta \sim 33,3\%$, без учета поглощения в фоточувствительном слое и поверхностного отражения. Невысокое значение дифракционной эффективности зарегистрированных решеток обусловлено структурой самого носителя, а не только отступлением от синусоидального профиля поверхностной деформации. В нашем случае пропускная способность ФТП носителя для излучения He-Ne лазера ($\lambda = 0,633\text{ }\mu\text{m}$) составляет 60% , что обусловлено поглощением сигнала в проводящем электроде и полупроводниковом слое. При

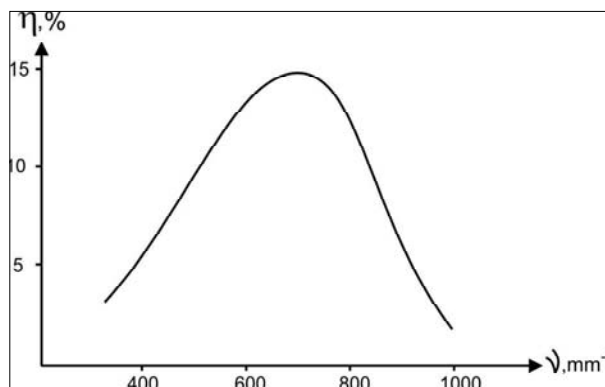


Рис.2. Зависимость дифракционной эффективности от пространственной частоты записи для фототермопластического носителя с толщиной термопластического слоя $0,8\text{ }\mu\text{m}$.

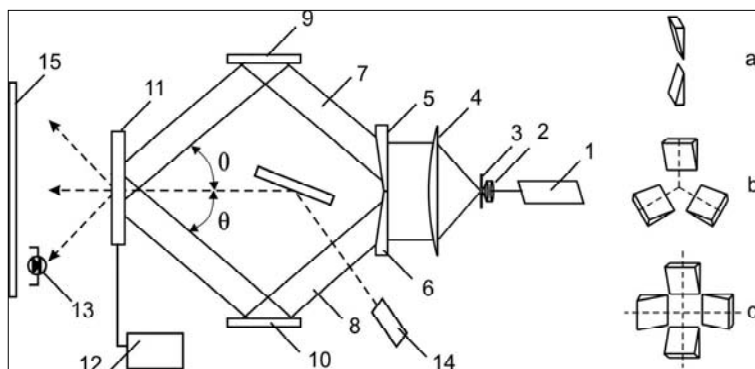


Рис.3. Оптическая схема установки: 1 - Nd:Yag лазер ($\lambda = 532\text{ nm}$), 2 - микрообъектив, 3 - микродиафрагма, 4 - коллиматор, 5,6 - призмы, 7,8 - опорный и предметный пучки, 9,10 - зеркала, 11 - фототермопластический носитель, 12 - блок управления ФТП процессом, 13 - фотодетектор, 14 - He-Ne лазер ($\lambda = 0,633\text{ }\mu\text{m}$), 15 - экран.

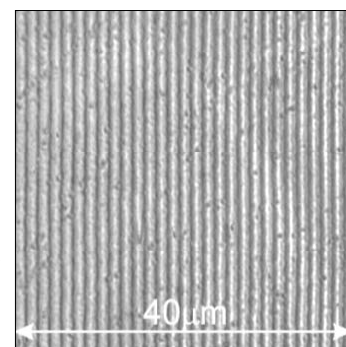
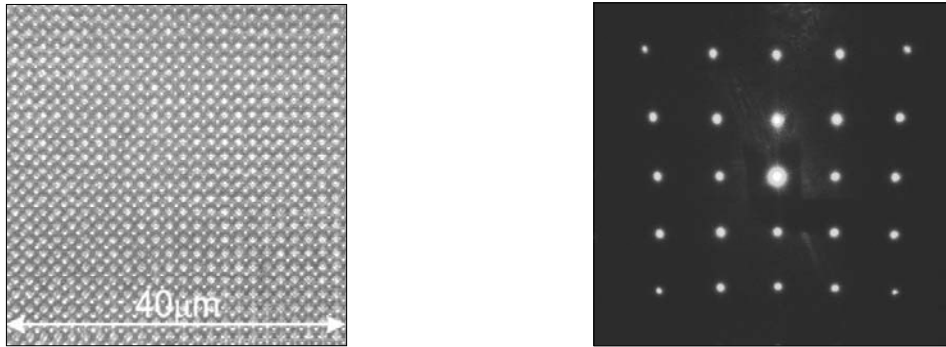


Рис.4. Поверхность ФТПН с зарегистрированной дифракционной решеткой и пространственной частотой записи $\nu = 700\text{ mm}^{-1}$

измерении дифракционной эффективности с учетом поглощения получаем $\eta = 25\%$. К тому же отраженный сигнал первых порядков дифракции составляет $\sim 3\%$. Однако на практике для плоских пропускающих голограмм принято указывать дифракционную эффективность, измеренную как процентное отношение интенсивности света первого порядка дифракции к интенсивности падающего пучка.

При модификации схемы таким образом, чтобы коллимированный пучок делился на четыре составляющих (рис.3с), в фоточувствительном слое носителя будет сформирована интерференционная картина из взаимно перпендикулярных темных и светлых полос.



a)

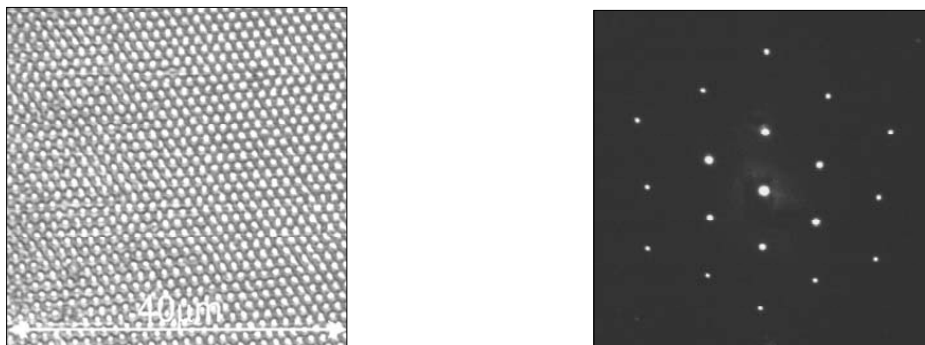
b)

Рис.5. а) – фотография поверхности ФТП носителя,

б) – расположение дифракционных максимумов при восстановлении голограммы, записанной по схеме на рис.3с.

При регистрации такой интерференционной картины на поверхности термопластика формируется рельефное изображение дифракционной решетки, состоящее из взаимно перпендикулярных канавок и выпуклостей, соответствующих периоду d первоначальной интерференционной решетки (рис. 5а). Поверхностный рельеф полученного изображения состоит из углублений в светлых местах спроектированного интерференционного раstra и выпуклостей на местах темных полос того же раstra. Дифракционная эффективность каждого из четырех первых максимумов (рис.5б) достигает значения $\eta = 10\%$. Необходимо отметить, что увеличение вдвое плотности регистрируемой информации, по сравнению с двулучевой схемой, уменьшило значение дифракционной эффективности с $\eta = 15\%$ до $\eta = 10\%$, но не в два раза. Последнее позволяет предположить, что информационная ёмкость исследуемого носителя позволяет регистрировать мультиплексные голограммы без существенного снижения значений дифракционной эффективности.

При пространственном разделении коллимированного пучка посредством трех призм (рис. 3б) с последующей проекцией при помощи дополнительного зеркала трех плоско-параллельных пучков на поверхность ФТПН, характер интерференционной картины меняется. В данном случае каждый из пучков будет интерферировать с двумя другими, создавая на поверхности ФТПН систему из последовательно чередующихся светлых и темных полос, образующих между собой угол в 120° . При освещении такой решетки пучком He-Ne лазера на экране наблюдается гексагональное расположение дифракционных максимумов (рис.6б).



a)

b)

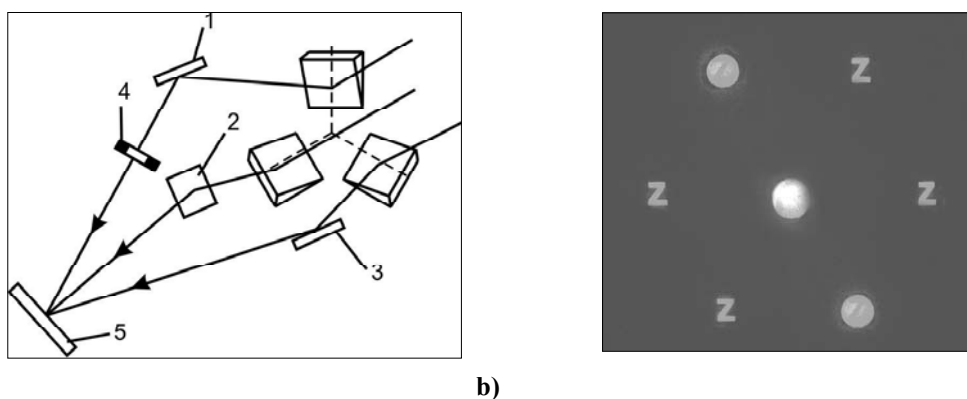
Рис 6. а) – фотография поверхности ФТП носителя;

б) – расположение дифракционных максимумов при восстановлении голограммы, записанной по схеме на рис.3б.

На рис.6 а представлена фотография такой дифракционной решетки, зарегистрированной на поверхности ФТП носителя. На изображении четко прослеживаются изолированные лунки, сформированные в освещенных местах и выстроены в линии, соответствующие первоначальной картине ин-

терференционного раstra при записи. Дифракционная эффективность каждого из первых максимумов достигает значения $\eta = 12\%$.

При размещении в плоскости одного из трех пучков в качестве светопропускающего транспаранта, как показано на рис.7а, на ФТП носителе (5) будет регистрироваться внеосевая голограмма исходного тест-объекта. В качестве тест-объекта выбран слайд, состоящий из светопропускающего символа Z на непрозрачном фоне (4,рис.7а), размещенном в плоскости предметного пучка (1). В данном случае лучи 2 и 3 рассматриваются как опорные пучки голографической схемы записи. При освещении зарегистрированной голограммы коллимированным пучком, падающим перпендикулярно к плоскости голограммы, в первых порядках дифракции восстанавливается изображение исходного тест-объекта (рис.7 б). Каждый из опорных пучков (2,3), интерферируя с предметным (1), сформировал в +1 и -1 порядках дифракции независимые изображения исходного объекта в виде символа Z, расположенные симметрично относительно нулевого максимума.



a)

b)

Рис 7. а) – оптическая схема регистрации голограммы;

б) – восстановленное на экране голографическое изображение тест-объекта в виде символа Z .

В то же время и оба опорных пучка интерферировали между собой, в результате чего зарегистрировалась дифракционная решетка, не несущая какой-либо информации об исходном объекте. Последнее объясняет наличие на экране +1 и -1 дифракционных максимумов, повторяющих форму считываемого пучка. Дифракционная эффективность восстановленного изображения каждого из символов Z достигает значения $\eta = 4\%$. Снижение дифракционной эффективности, по сравнению с дифракционной решеткой, обусловлено увеличением спектра пространственных частот, регистрируемых в каждой точке голограммы, что приводит к отступлению от резонансной частоты записи.

Выводы

Наряду с основными достоинствами ФТП носителей – высокая чувствительность, регистрация оптической информации в реальном масштабе времени, реверсивность процесса записи – предлагаемые носители могут быть успешно использованы для регистрации мультиплексных голограмм при одновременном методе записи. Исследуемый носитель позволяет успешно регистрировать растрованные изображения при одновременной интерференции как трех, так и четырех лазерных пучков, что позволяет существенно увеличить плотность регистрируемой информации на единицу поверхности ФТП носителя.

Литература:

1. Новые регистрирующие среды для голографии / Под ред. В.А. Барачевского. - Москва: Наука, 1983.
2. Колфилд Г. Оптическая голография. - Москва: Мир, 1982.
3. Франсон М. Голография. - Москва: Мир, 1972.

Prezentat la 27.02.2009